



DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.01.006

国外雨水管理对我国海绵城市建设的启示

廖朝轩¹, 高爱国², 黄恩浩¹

(1. 台湾海洋大学河海工程学系, 台湾 基隆 20224; 2. 厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361102)

摘要: 介绍我国海绵城市建设的背景, 分析海绵城市建设的必要性, 讨论海绵城市建设与雨水管理之间的关系, 认为可借鉴日本、美国、澳大利亚以及欧洲一些国家的“低影响开发技术”、“水敏性城市设计”、“绿色基础设施建设”等理念和技术, 以及一些雨水管理法规与奖励政策, 因地制宜地进行城市排水系统改造、雨水管理信息系统建设等, 推进我国海绵城市的建设。

关键词: 海绵城市; 低影响开发技术; 水敏性城市设计; 雨水管理; 绿色基础设施建设

中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-6933(2016)01-0042-04

Enlightenment of rainwater management in foreign countries to sponge city construction in China

LIANG Chaohsien¹, GAO Aiguo², HUANG Enhao

(1. Department of Harbor & River Engineering, Taiwan Ocean University, Keelung 20224, China;
2. College of Ocean and Earth Science, Xiamen University, Xiamen 361102, China;)

Abstract: The background of sponge cities construction in China is introduced, and the necessity of construction of sponge city is analyzed. The relationship between the construction of sponge city and rain water management was discussed. Based on that, ideals and technologies including low impact development (LID), water sensitivity urban design (WSUD) and green infrastructure construction (GIC) from Japan, U. S., Australia and European countries and some rainwater management laws and inspirations are recommended to transform the city drainage system and construct rainwater management information system according to local conditions, helping promote the construction of sponge city in China.

Key words: sponge city; low impact development (LID); water sensitivity urban design (WSUD); rainwater management; green infrastructure construction (GIC).

1 海绵城市建设的背景

美国加利福尼亚大学 Kahn 教授^[1]在 2010 年出版了《气候城市》一书, 探讨未来气候变暖过程中, 城市如何健康发展。Kahn 特别提出“城市竞争”的概念, 即城市之间为了健康发展, 将推行各种政策和措施, 以改善环境与设施, 让城市更为宜居和更具吸引力。在气候变暖的趋势下, 关键是能否提出在气候变化背景下本地区应对极端气候灾难的策略。水资源不足和污水治理是目前大多数城市发展中间

临的问题。随着城市化进程的加速, 大量农村人口入城, 使得本已缺水的城市更难以继。资源型缺水和水质型缺水的交互作用, 使原来的生态平衡被打破, 形成了更为复杂的生态型缺水状态, 水成为社会经济发展的主要制约因素。

在城市化的大背景下, 我国新建成的建筑相当于世界建筑总量的一半^[2]。随着城市化进程的加快, 城市的不透水面积逐步增加, 城市正演变为钢筋水泥筑成的“硬壳城市”, 雨水资源得不到有效利用, 给民众生活带来不便甚至灾难, 城市水循环系统

基金项目: 国家自然科学基金(41376050)

作者简介: 廖朝轩(1955—), 男, 教授, 博士, 主要从事雨水利用、暴雨径流管理及水利经济研究。E-mail: chliaw@ms41.hinet.net

通信作者: 高爱国, 教授。E-mail: aggao@xmu.edu.cn



和生态系统进一步恶化^[3]。在过去3年中,我国有360多个城市遭遇内涝,其中60多个城市单次内涝时间超过12h,水深大于0.5m,北京、济南等城市的严重内涝甚至导致人员伤亡发生^[4]。

为了解决城市缺水问题,把有限的雨水留下来,改善城市生态环境,消除城市内涝隐患,杜绝市内“看海”现象,建设自然积存、自然渗透、自然净化的海绵城市被提到国家战略层面。2014年10月,住房和城乡建设部发布了《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试用)》^[5]。2015年1月,启动了镇江、嘉兴、厦门、济南、武汉、常德、南宁等16个试点城市的海绵城市建设。2015年9月29日,李克强总理在国务院常务会议上,部署加快海绵城市建设,首批海绵城市建设总投资额超过300亿元。在全国范围内,海绵城市建设已成为城市建设和改造的重头戏,一场以改善城市生态环境和水循环的建设热潮已经掀起。

2 海绵城市建设与雨水管理

为了克服伴随城市发展、城市地表径流量大幅增加而引发的洪涝积水、河流水系生态恶化、水污染加剧等问题,我国政府吸取欧美发达国家的成功经验,将低影响开发技术(LID)雨水系统的理念由小区推广到整个城市,将保护原有水生态系统和恢复被破坏的水生态与推行低影响开发技术结合,建设海绵城市,构建良好城市生态系统^[6]。

海绵城市是指通过科学的规划与切实可行的建设,使城市在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”。在海绵城市建设中,将自然途径与人工措施相结合,通过统筹处理降水、地表水、地下水和人工给排水,最大限度地实现雨水在城区的积存、渗透、净化和利用,协调给水排水等水循环利用环节,从而实现城市和水生态环境的完美结合^[7]。海绵城市是一个从快排、及时排、就近排、速排干的工程排水时代,跨入“渗、滞、蓄、净、用、排”六位一体的综合排水、生态排水时代的战略性转变,其核心就是雨水的有效管理。

我国的海绵城市建设,是在政府的支持下,充分发挥所在城市、社区的主导作用,运用成熟的技术进

行的城市生态环境修复或再造。许多城市已进行了一定的探索,取得了一些成功经验。但是,这项工作在我国历时短,对海绵城市建设内涵及外延掌握并不到位,而且海绵城市的理念和建设内容仍在不断发展、创新和完善中。

美国、日本、澳大利亚以及欧洲等国的城市水资源利用管理的实践起步较早,他们提出的“低影响开发技术”、“水敏性城市设计”、“水资源综合管理”等理念,在城市规划设计中得到了很好的应用,可以为我国提供很好的借鉴。笔者拟通过分析海绵城市与雨水管理之间的关系,参考美国、日本、澳大利亚、欧洲各国城市不同降雨条件下的雨水管理措施,提出降低城市排水系统负荷和伴随城市开发出现的相关影响的解决方案,为推动海绵城市建设提供参考。

气候变化造成暴雨频发,以及快速发展的城市化建设对城市水循环系统造成巨大的冲击,使得兼顾水循环的持续性雨水管理显得日益重要。海绵城市的建设指标涵括了雨水径流和非点源污染物的控制、雨水资源利用、洪峰流量控制等,目标是实现健全的水文循环、健康的生态系统、可持续的城市景观等。掌握这些指标及其相互间的关系,建设城市雨水综合管理体系,是海绵城市建设的主要内容^[7-8]。所谓持续性雨水管理,是指城市雨水管理中,通过屋顶绿化、透水性铺面及草沟等方法,抑制雨水排放,延滞流速,促进雨水渗透和蒸发,恢复因城市化而丧失的自然水循环^[6]。雨水管理设施储存及渗透的评估项目、功能和效益见表1。

3 国外雨水管理的理念与技术介绍

3.1 美国的最佳管理措施和低影响开发技术

最佳管理措施(best management practice, BMP)最初关注的焦点是非点源污染源的削减与控制。美国1987年修订了《联邦清洁水法案》,公布了《清洁水法案的修正案》,制订了非点源污染源控制的条款,将雨水径流污染的控制要求纳入国家污染排放许可制度。1997年通过的《联邦水污染控制法修正案》(Federal Water Pollution Control Act Amendment, FWPCA),首次将BMP理念纳入立法层次。2003年将BMP目标扩大为涵盖雨洪控制、土壤冲蚀控制及

表1 雨水管理设施储存及渗透的评估项目、功能及效益

评估项目	功能及效益
治水及防灾	抑制雨水排放、削减高峰流量、减轻河流和雨水下水道负担、防止水涝、降低水害风险、削减管渠维护费用
水资源利用	用于消防用水、环境景观用水、杂用水、庭院及道路的洒水,缓和自来水紧张局面、节水、活用水资源
生态环境系统保护	确保河流基流量、地下水补充及抑制地面下陷、泉水保存及恢复、水域生态系统的保护及恢复、对绿地的水分补给、缓和城市热岛现象、减轻非点源污染负荷、削减合流式下水道负荷、水环境保护、生态系统保护、改善微气象、水质保护
环境舒适度	创造亲水空间(小溪、景观池、群落环境等)、形成城市景观、提升娱乐功能



非点源污染源的削减与控制等雨水综合管理决策体系,更强调与自然生态结合的生态设计和非工程性管理措施^[4]。

低影响开发技术(low impact development, LID)是在BMP的基础上发展起来的雨水管理新概念。由于BMP在实施中具有占地面积较大,建设及维护费用较高,处理效率较低,以及可能产生的洪峰迭加负面效应^[9],故1990年美国马里兰州乔治王子县推出了一种微观尺度的LID理念与技术体系,作为宏观尺度BMP的补充。与BMP相比,LID强调在降雨时尽可能通过储存、渗透、蒸发、过滤、净化及滞留等多种雨水控制技术,将城市开发后的雨水排出状态恢复接近城市开发前的状态^[3]。

3.2 日本的健全水循环体系

依据1992年制订的《环境基本法》和1994年制订的环境基本计划,日本从环境保护层面明确健全水循环体系的重要性。1998年8月日本召开“建构完善水循环系统的相关部门联络会议”,以协调相关部门的工作。2000年在修订《环境基本计划》时,日本强调以流域为单位建立健全的水循环体系,流域内的都道府县、国家办事处等所辖行政机关,应就有关流域的水循环体系开展现状评价,制订健全的水循环计划。2003年10月日本完成“建构完善的水循环体系之实施计划”,明确指出水循环系统的问题所在和解决方案。该计划综观整个流域,描述在城市范围内如何储存雨水、渗透雨水和培养城市保水性功能,提高水资源利用效率。2014年7月1日起,《日本水循环基本法》生效,其主要目的是采取推动水循环的措施,恢复、维持健全的水循环系统,以发展健全的经济社会,提升国民生活的安定性^[6]。

3.3 澳大利亚的水敏性城市设计

澳大利亚在20世纪90年代末提出水敏性城市设计(water sensitivity urban design, WSUD)。WSUD是针对传统排水体制所产生的问题而提出的一种雨水管理模式与方法,其核心观点是从城市规划与设施设计的角度来呈现雨水管理的重要性,并把城市水循环视为一个整体,将自来水、污水、雨水排放作为城市水循环的构成要素来综合考虑和管理。

3.4 英国的可持续城市排水系统

为解决传统城市排水体制所产生的问题,英国国家可持续城市排水系统工作小组于2004年发布了《可持续城市排水系统(sustainable urban drainage system, SUDS)的过渡期实践规范》,提出了实施可持续城市排水系统的思路方法及技术规范。SUDS将环境与社会因素纳入城市排水体制及排水系统中,综合考虑水量、水质、污废水及回收再利用、小区

参与、经济发展、自然生态保育、景观设计及生态价值,通过综合措施来改善城市整体水循环^[9-10]。

3.5 欧美的绿色基础设施建设

从20世纪90年代起,绿色基础设施概念在欧美扩展开来。虽然不同的国家和领域,绿色基础设施建设含义并不相同,但从广义看,均指有效利用绿地、湿地及雨水贮存渗透设施等。具体而言,在城市开发和土地利用中,利用自然环境中植被等的防灾和水质净化等功能,致力于雨水贮存渗透设施、低洼地、人工湿地等基础设施的建设^[9]。

4 国外雨水管理法规及奖励政策

国外就雨水管理推出了一系列法规及奖励政策,下面就美国和德国的相关案例进行说明^[6,8]。

4.1 实施雨水排放许可证制度

20世纪90年代,美国联邦政府制定了《国家污染物排放削减许可制度》(national pollutant discharge elimination system, NPDES),要求市政府对分流制雨水下水道系统的所有者或经营者必须采取相应的污染源控制措施,并获取NPDES雨水排放许可证。各州基于此相继制定了各州的法律与法规^[9]。除了制定雨水排放许可证制度外,美国联邦政府及各州政府还采取了税收控制、政府补贴贷款、奖励等一系列经济手段,引导住户增加透水性面积及雨水贮存渗透设施,以削减雨水排放量。

4.2 推行征收雨水费制度

美国华盛顿特区的“华盛顿都会区政府理事会”(Metropolitan Washington Council of Governments, MWCOC)其成员包括由哥伦比亚特区、弗吉尼亚与马里兰两个州的21个县、市、镇组成的政府组织。据理事会2011年的调查,大部分地区都要征收雨水费。征收雨水费的计费方式各有不同,大多数采取“等效住宅单位”(Equivalent Residential Unit, ERU)的方法。这种方法基于房产的建筑面积,包括占用的土地中因被夯实而雨水难以下渗的部分进行计费收费。以哥伦比亚特区为例,先计算住户的ERU值,然后按当年度的收费标准收取雨水费。2010年的收费标准为每月每个ERU要缴2.57美元,全年30.84美元。2014年调整到每月每个ERU要缴2.67美元的雨水费,全年32.04美元。

美国明尼亚波利斯市对于市内全部不动产(包含住宅、学校、公共设施等)在综合考虑径流系数、不透水面积后,每月每142.1 m²收取雨水排放费9.77美元。同时,又依照削减雨水排放量及污染负荷的情况,让住户享有不同的折扣。所收的费用用于雨水处理系统的建设与维护管理。



美国马里兰州威廉王子县则按照房屋类型收费,现在的年收费标准是独户住宅 36.10 美元,连排屋、活动房与公寓楼单元房都是 27.10 美元,其他非居住的商业或办公建筑每 1000 平方英尺(92.9 m²)年度雨水费为 17.54 美元。在威廉王子县,因为住宅雨水费不按所占用的绿地面积计算,所以对住家车库前的车道宽窄有所限制,要求车道只能是一辆车的宽度,以保留更多的可透水土地。

德国柏林推行“雨水费”制度,无论是私人房屋还是工厂企业,直接向下水道排放雨水必须按房屋的不渗水面积交纳 1.84 欧元/m² 的费用。而在科隆,则以建筑面积为基准,每年雨水排放费征收标准为 1.1 欧元/m²,如采用屋顶绿化或雨水贮存及入渗设施等来减少雨水排放量,则可获得雨水管理折扣制度的优惠。

4.3 绿色屋顶专项基金及优惠

美国华盛顿特区在征收雨水费的同时,还设立了绿色屋顶专项基金,鼓励开发商将房顶建成绿地,每 1 平方英尺新建或改造的屋顶绿地可以获得 5 美元的补贴(折合 53.82 美元/m²),这笔费用由市政府从征收的雨水费中支出。

5 对我国海绵城市建设的启示

我国城市分布范围跨度大,各地自然条件差别大,城市的规划、建设与管理体制,自然地理环境,社会经济发展各有特点,因此,应根据当地的具体情况,借鉴国外雨水管理技术和手段,建立一套具有当地特色的城市雨水管理体系、理论及方法。

5.1 因地制宜,引进国外先进理念和技术

将 BMP、LID、SUDS 和 WSUD 及健全水循环体系等概念和技术引入国内时,因为地理条件、水文情况改变,应根据本地降雨量、城市住宅密度和人口密度、有无空间和土地利用的变迁等情况,找出适合本区域的海绵城市建设方案。在实施时,参照国外雨水管理的经验与技术,结合既有的雨水收集、输送及储存设施等的建设方案,科学规划,积极推进,如采取一系列雨水利用和滞蓄措施,要求新建、改建的大型公共建筑物设置雨水下渗或滞蓄设施,利用公园、绿地、停车场等开放空间来调蓄暴雨径流。

5.2 改造建成环境,突破传统城市排水框架

制订健全国土规划和城市规划,尽量避免开发易淹水的土地,以避免水患风险。但是,这并不意味着要把目前住在河岸的庞大人口全部迁走,还可通过环境设计帮助改造现有环境,包括改造建筑物、开放空间、基础设施等,实现从“不能淹水”到“不怕水淹”的环境转化。从“治水”转到“改造建成环境”,

是责任的重新分配。

5.3 更新观念,调动各方的积极性

过去减轻突发雨洪损失,主要是靠河流和排水管网的协调,编制城市雨洪应对措施。面对城市化进程的加快及气候变化,这种传统做法收效极其有限,必须寻找更多更紧密的行业合作方式。借鉴 WSUD 所呈现的城市规划和城市设计的雨水管理方向,结合整个流域的综合性雨水管理规划,重视当地业主在雨洪管理方案决策中所起的作用,充分调动业主的积极性。

5.4 完善城市雨水管理信息建设

城市给排水行业的发展已从建设转变到维护管理的时代,雨水管理也到了一个新时代。今后不仅要搜集既有的城市雨洪管理的各项措施和设施信息,也必须搜集包含其他行业的设施信息和观测信息,综合已有各规划和已建成的信息系统,查漏补缺,完善城市雨水管理信息建设,将各类信息进行储存、分析,并做最大限度的利用,提供超规划的降雨量、突发事件的应对方案,以减轻突发事件造成的损失。

6 结 语

在进行城市雨洪管理中,最重要的是保证城市可持续发展,而城市可持续发展体现在提升产业竞争力、确保高质量的生活、抵御灾害的城市建设、降低环境负荷和与自然共生等。在城市可持续发展中,一方面要以先前的雨洪治理经验为基础,另一方面积极引进国外的新技术和新方法,落实培养推动雨洪管理人才等工作,推进我国海绵城市的建设。

参考文献:

- [1] KAHN M E. Climatopolis: How our cities will thrive in the hotter future [M]. New York: Basic Books, 2010.
 - [2] 仇保兴. 海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J]. 给排水, 2015(3): 1-7. (QIU Baoxing. Connotation, ways and prospects of sponge city (LID) [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015(3): 1-7. (in Chinese))
 - [3] 廖朝轩, 詹丽梅, 陈家梁, 等. 城区水文循环机制与改善策略分析[J]. 水科学进展, 2008, 19(1): 49-53. (LIAW Chaohsien, ZHAN Limei, CHEN Jialiang, et al. Hydrological cycle and improvement alternatives for urban area [J]. Advances in Water Science, 2008, 19(1): 49-53. (in Chinese))
 - [4] 柯善北. 破解“城中看海”的良方:《海绵城市建设技术指南》解读[J]. 中华建设, 2015(1): 22-25. (KE Shanbei. Recipe for solving the problem of “see the sea from the city”: Understanding Technical Guide for Sponge City Construction [J]. China Construction, 2015(1): 22-25. (in Chinese))
- (下转第 50 页)



(1): 63-33. (XIONG Ying ,SU Zhigang ,GAO Juming. Research on grow and purification capacity of emerging plants of seven species [J]. Environmental Science and Management 2011 36(1): 63-33. (in Chinese))

- [7] 黄蕾, 翟建平, 蒋鑫焱, 等. 三种水生植物在不同季节去污能力的对比研究[J]. 环境保护科学, 2005, 31:44-47. (HUANG Lei, ZAI Jianping, JIANG Xinyan, et al. Experimental study of decontamination ability of three hydrophytes in different seasons [J]. Environmental

Protection Science 2005 31:44-47. (in Chinese))

- [8] 杨德敏, 曹文志, 陈能汪, 等. 厦门城市降雨径流氮、磷污染特征[J]. 生态学杂志, 2006, 15(6): 625-628. (YANG Demin, CAO Wenzhi, CHEN Nengwang, et al. Nitrogen and phosphorus pollution from urban stormwater runoff in Xiamen City [J]. Chinese Journal of Ecology 2006, 15(6): 625-628. (in Chinese))

(收稿日期:2015-12-10 编辑:徐娟)

(上接第 22 页)

- [73] ALTMANN D, STIEF P, AMANN R, et al. Nitrification in freshwater sediments as influenced by insect larvae: quantification by microsensors and fluorescence in situ hybridization [J]. Microbial Ecology 2004, 48(2): 145-153.
- [74] STIEF P, SCHRAMM A. Regulation of nitrous oxide emission associated with benthic invertebrates [J]. Freshwater Biology 2010, 55:1647-1657.
- [75] SVENNINGSSEN N B, HEISTERKAMP I M, SIGBY-CLAUSEN M, et al. Shell biofilm nitrification and gut denitrification contribute to emission of nitrous oxide by the invasive freshwater mussel *Dreissena polymorpha*

(zebra mussel) [J]. Applied and Environmental Microbiology 2012, 78(12): 4505-4509.

- [76] STIEF P, ELLER G. The gut microenvironment of sediment-dwelling *Chironomus plumosus* larvae as characterised with O₂, pH, and redox microsensors [J]. Journal of Comparative Physiology: B, Biochemical, Systemic and Environmental Physiology 2006, 176(7): 673-683.
- [77] SUN Xu, HU Zhixin, JIA Wen, et al. Decaying cyanobacteria decrease N₂O emissions related to diversity of intestinal denitrifiers of *Chironomus plumosus* [J]. Journal of Limnology 2015, 74(2): 261-271.

(收稿日期:2015-10-01 编辑:徐娟)

(上接第 41 页)

- [8] 罗缙, 逢勇, 林颖, 等. 太湖流域主要入湖河道污染物通量研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2005, 33(2): 131-135. (LUO Jin, PANG Yong, LIN Ying, et al. Study on flux of pollutants discharged into Taihu Lake through main inflow river channels [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences 2005, 33(2): 131-135. (in Chinese))
- [9] LI Weixin, ZHANG Yongchun, LIU Zhuang, et al. Outline for establishment of the Taihu Lake Basin early warning system [J]. Ecotoxicology 2009, 18:768-771.
- [10] 李维新, 张永春, 张海平, 等. 太湖流域水环境风险预警系统构建[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(增刊 1): 4-8. (LI Weixin, ZHANG Yongchun, ZHANG Haiping, et al. Construction of water environmental risk

early warning system for Taihu Lake Basin [J]. Journal of Ecology and Rural Environment 2010, 26(Sup1): 4-8. (in Chinese))

- [11] 罗缙. 平原河网区水环境时空变化模拟技术及应用研究:以太湖流域为例[D]. 南京: 河海大学, 2009.
- [12] 谢蓉蓉, 逢勇, 王涛, 等. 基于太湖流域跨界断面的跨界水环境综合管理区及控制单元划分研究[J]. 福建师范大学学报:自然科学版, 2015, 31(1): 103-109. (XIE Rongrong, PANG Yong, WANG Xiao, et al. Delineation of the water environmental comprehensive management area and control unit in the trans-river cross-section of Taihu Basin [J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition 2015, 31(1): 103-109. (in Chinese))

(收稿日期:2015-10-08 编辑:彭桃英)

(上接第 45 页)

- [5] 建城函[2014]275号 海绵城市建设技术指南:低影响开发雨水系统构建(试行) [S]
- [6] 廖朝轩, 江育铨. 都市水环境与雨水利用计划[J]. 台湾环境与土地, 2014, 2(2): 50-59. (LIAW Chaohsien, JIANG Yuquan. Urban water environment and rainwater utilization plan [J]. Taiwan Environment and Land 2014, 2(2): 50-59. (in Chinese))
- [7] LIAW Chaohsien, TSAI Y L, CHENG M S. Hydrologic analysis of distributed small-scale stormwater control systems [J]. Journal of Hydroscience and Hydraulic

Engineering 2005 23(1): 1-12.

- [8] 鞠茂森. 关于海绵城市建设理念、技术和政策问题的思考[J]. 水利发展研究, 2015(3): 7-10. (JU Maosen. Reflections on the concept, technology and policy of sponge city construction [J]. Water Resources Development Research 2015(3): 7-10. (in Chinese))
- [9] National Research Council. Urban stormwater management in the United States [M]. New York: The National Academics Press 2009.
- [10] Water Environment Federation. Design of urban stormwater controls [M]. New York: McGraw Hill 2012.

(收稿日期:2015-10-08 编辑:彭桃英)